

# ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И КОМПЛЕКС МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВА СПЛАВОВ Ti-6Al-4VELI И Ti-6Al-4V

*Пагина А.А.*

*Руководители – доцент, к.т.н. Илларионов А.Г., начальник лаборатории титановых сплавов, к.т.н. Трубочкин А.В. \**

УрФУ им. первого Президента России Б.Н.Ельцина, г. Екатеринбург

\*ОАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА», г. Верхняя Салда

e-mail: aleksandra\_pagina@mail.ru

Использование сплава Ti-6Al-4V ELI (extra low impurity) для работы в условиях криогенных температур, а также использование его в качестве имплантатов в медицине обусловлено повышенным комплексом пластических свойств и вязкости разрушения по сравнению со сплавом Ti-6Al-4V, что достигается за счет снижения содержания в нем примесей внедрения, таких, как О и С, а также снижения содержания железа.

В работе изучено влияние различных режимов термообработки на механические свойства сплавов Ti-6Al-4VELI и Ti-6Al-4V. Особое внимание было уделено ударной вязкости. В качестве материала для исследования использовались темплеты диаметром 180 мм, изготовленные путем осадки в ( $\alpha + \beta$ )-области со степенью деформации 40 % из сплавов Ti-6Al-4V (Ti-6,29Al-4,15V- 0,22Fe-0,17O-0,026C мас.%) и Ti-6Al-4V ELI (Ti-5,89Al-3,91V-0,2Fe- 0,094O-0,024C мас.%), которые имели температуру полиморфного превращения ( $T_{\text{пп}}$ ) 993 °С и 978 °С соответственно.

Качественный и количественный анализ микроструктуры сплавов в исходном состоянии показал, что для обоих сплавов она бимодальная. Размеры первичной ( $\alpha_I$ ) и вторичной ( $\alpha_{II}$ )  $\alpha$ -фазы и объемная доля  $\alpha_I$ -фазы следующие: Ti-6Al-4V ELI:  $\langle \alpha_I \rangle = 13,2$  мкм, 38 %;  $\langle \alpha_{II} \rangle = 1$  мкм; Ti-6Al-4V:  $\langle \alpha_I \rangle = 9,7$  мкм, 54 %;  $\langle \alpha_{II} \rangle = 2,73$  мкм.

Для определения комплекса механических свойств сплавов были выбраны промышленные режимы термообработки, характерные для сплава Ti-6Al-4V ELI. Результаты испытаний приведены в таблице.

Микроструктура образцов после термообработки, представлена на рисунке 1. В случае обработки в двухфазной области сохраняется бимодальный тип структуры (рисунок 1, а, б, г, д), наследуемый от исходного состояния. Отличие состоит в количестве и размере первичной и вторичной  $\alpha$ -фазы. На рисунке 1, в, е представлена структура сплава после  $\beta$ -отжига. Структура пластинчатого типа. В структуре наблюдаются полиэдрические  $\beta$ -зерна. Внутренний объем  $\beta$ -зерен разделен  $\alpha$ -пластинами, собранными в пачки ( $\alpha$ -колонии). В каждой колонии  $\alpha$ -пластины имеют одинаковое пространственное расположение и разделены прослойками  $\beta$ -фазы.

Таблица Результаты механических испытаний образцов из сплавов Ti-6Al-4V ELI и Ti-6Al-4V (свойства: Ti-6Al-4V ELI / Ti-6Al-4V)

№ обработки	Режим термообработки	KCU, МДж/м <sup>2</sup>	KCV, МДж/м <sup>2</sup>	KCT, МДж/м <sup>2</sup>	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %
1	705 °С, 2 ч., воздух	0,56/ 0,41	0,43/ 0,26	0,36/ 0,16	870/ 940	920/ 990	16/ 17
2	T <sub>сп</sub> – 20, 2 ч. вентилятор; 705 °С, 2 ч., воздух	–/ 0,37	0,44/ 0,24	0,34/ 0,18	830/ 910	910/ 980	19/ 16
3	T <sub>сп</sub> – 20, 2 ч. вентилятор; 550 °С, 4 ч., воздух	0,74/ 0,49	0,51/ 0,31	0,48/ 0,17	880/ 940	950/ 1000	17/ 16
4	T <sub>сп</sub> + 40, 50 мин., воздух; 730 °С, 2 ч., воздух	0,59/ 0,36	0,51/ 0,31	0,49/ 0,30	830/ 880	920/ 970	10/ 6

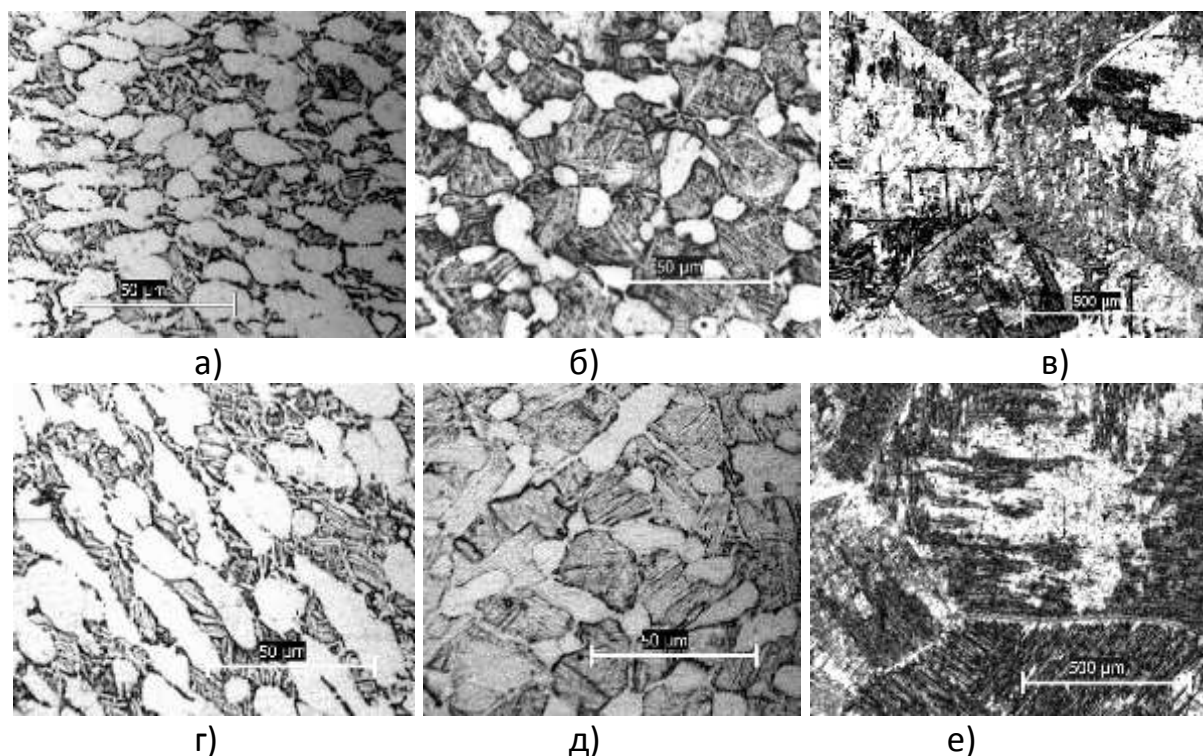


Рисунок 1. Микроструктура образцов и характеристики микроструктуры, сплав Ti-6Al-4V ELI: а) обработка 1:  $\langle\alpha_I\rangle = 38,75$  мкм, 50 %;  $\langle\alpha_{II}\rangle = 2,24$  мкм; б) обработка 2:  $\langle\alpha_I\rangle = 27,1$  мкм, 33 %;  $\langle\alpha_{II}\rangle = 0,98$  мкм.; в) обработка 4:  $\langle\beta\rangle = 676$  мкм; Ti-6Al-4V: г) обработка 1:  $\langle\alpha_I\rangle = 20$  мкм (продольное направление),  $\langle\alpha_I\rangle = 9$  мкм (поперечное направление), 55%;  $\langle\alpha_{II}\rangle = 2,3$  мкм; д) образец 2:  $\langle\alpha_I\rangle = 8$  мкм, 24 %;  $\langle\alpha_{II}\rangle = 1,8$  мкм; е) обработка 4:  $\langle\beta\rangle = 652$  мкм.

На рисунке 2 представлено сравнение результатов испытаний на ударную вязкость образцов из сплавов Ti-6Al-4V ELI и Ti-6Al-4V.

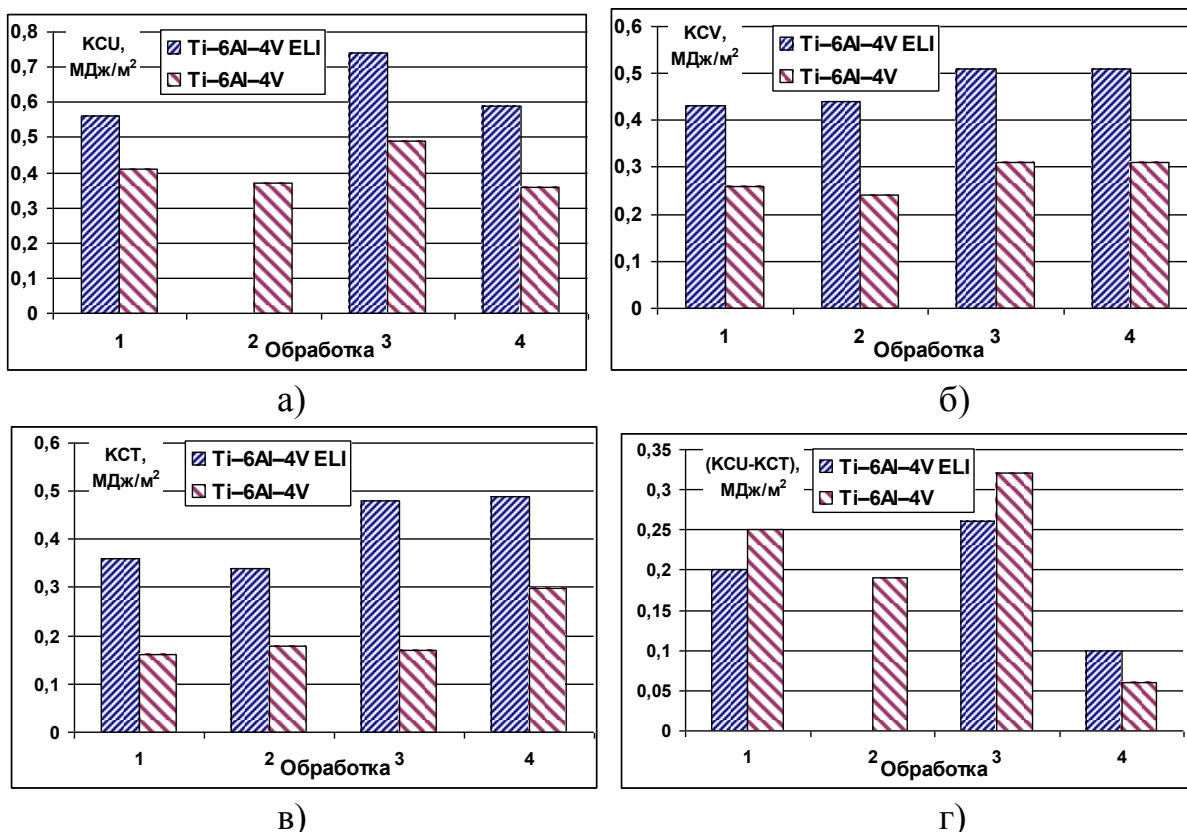


Рисунок 2. Результаты испытаний на ударный изгиб сплавов Ti-6Al-4V и Ti-6Al-4V ELI: а) KCU, б) KCV, в) KCT, г) (KCU – KCT)

В результате сравнения механических свойств и структуры представляется возможным сделать следующие выводы:

1. Ударная вязкость образцов из сплава Ti-6Al-4V ELI существенно выше ударной вязкости образцов из сплава Ti-6Al-4V;

2. Разность между значениями KCU и KCT (работа зарождения трещины) сплава Ti-6Al-4V ELI ниже, чем сплава Ti-6Al-4V, что коррелирует с минимальным значением размера  $\alpha_I$ -фазы и максимальным значением размера  $\alpha_{II}$ -фазы (рисунок 1). Это соответствует минимальному количеству межфазных границ на поверхности образца, а, следовательно, минимальному количеству очагов зарождения трещины, что подтверждают свойства образцов с пластинчатой структурой после обработки 4 (рисунок 2, г), которые имеют минимальное значение разности KCU-KCT;

3. Наиболее благоприятным режимом термической обработки сплавов (сравнительно высокие прочностные свойства, а также высокий уровень ударной вязкости) Ti-6Al-4V, Ti-6Al-4V ELI, с учетом формирования глобулярно-пластинчатой структуры, является режим 2:

$T_{\text{III}} - 20^\circ\text{C}$ , 2 ч., вентилятор;  $550^\circ\text{C}$ , 4 ч., воздух.